ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2019, № 1

УДК 62-67; 62-69

М. Калимолдаев, Е. Амиргалиев, М. Кунелбаев, Т. Мерембаев, Т. Сундетов
Институт информационных и вычислительных технологий Министерства образования и науки Республики Казахстан, Казахстан
ул. Пушкина, 125, г. Алматы, 050010

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В ПЛОСКОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ С ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

M. Kalimoldaev, Y. Amirgaliyev, M. Kunelbyaev, T. Merembaev, T. Sundetov
Institute of Information and Computational Technologies MES RK, Kazakhstan
125, Pushkin St., Almaty, 050010

COMPUTER MODEL OF CONTROL OF A FLAT SOLAR COLLECTOR WITH A THERMOSIFON CIRCULATION

В настоящей работе рассматриваются возможности создания цифровой платформы на базе Mojo v3 для мониторинга функционирования двухконтурного солнечного коллектора. В предложенной системе измерения производятся по 6 цифровым датчикам (DS18B20 Dallas), использующим 16 проводов. Используя датчики Далласа и соответствующее программное обеспечение, можно контролировать уровень температуры и количество теплоты. Использование 6 цифровых датчиков значительно повышает эффективность управления системой и увеличивает скорость обработки данных. Рассмотрены возможности конфигурации датчиков для платформы Mojo v3, а также схема управления гелиоколлектором.

Ключевые слова: солнечная энергия, плоский солнечный коллектор, платформа Mojo v3, котроллер

This paper discusses the possibility of creating a digital platform based on Mojo v3 for monitoring the operation of a dual-circuit solar collector. In the proposed system, measurements are made from 6 digital sensors (DS18B20 Dallas), 16 wires are used. Using Dallas sensors and the appropriate software, you can monitor the temperature level and the amount of heat. The use of 6 digital sensors significantly increases the efficiency of control over the system and increases the speed of data processing. The possibilities of configuring sensors for the platform Mojo v3, as well as the control circuit of the solar collector are considered.

Keywords: solar energy, flat solar collector, platform Mojo v3, controller

Введение

В целях устойчивого и безопасного развития общества экологические и экономические факторы все больше диктуют необходимость перехода от традиционных видов топлива к возобновляемым источникам энергии. Возобновляемые источники энергии, без губительного воздействия на окружающую среду, имеют потенциал для удовлетворения нынешних и будущих прогнозируемых глобальных потребностей деятельности человечества. Для устойчивого удовлетворения глобальных энергетических потребностей возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, ветер, гидроэнергетика и биогаз, являются потенциальными источниками. Естественно, лучшей альтернативой для удовлетворения растущего спроса на энергию является солнечная энергия. Как правило, плоские пластинчатые солнечные коллекторы являются наиболее часто используемыми сборщиками солнечной энергии в коммерческих и бытовых водонагревательных системах. Плоские пластины, эвакуированные трубки или концентрационные коллекторы, как представители солнечных коллекторов, используются для горячего водоснабжения. Пластина абсорбера служит в качестве центрального компонента коллектора. Тепловые характеристики солнечного коллектора зависят от оптических и тепловых свойств, а также от конструкции пластины поглотителя. Типичный плоский коллектор состоит из абсорбера в изолированной коробке вместе с прозрачными обложками (остеклением). Абсорбер обычно изготавливают из металлического листа с высокой

теплопроводностью, такого как медь или алюминий, со встроенными или прикрепленными трубами. Для максимизации поглощения солнечной энергии его поверхность покрыта специальным селективным материалом. Изолированная коробка уменьшает потери тепла в плоском солнечном коллекторе от задней и боковых сторон коллектора [1]. Самые простые и наиболее широко используемые устройства сбора солнечной энергии – это термосифонные или природные циркуляционные системы солнечного водоснабжения (SWHS). Они состоят из плоского коллектора, резервуара для хранения и соединительных труб. Коллектор состоит из пластины абсорбера, стояка и коллекторных трубок, стеклянной крышки, кожуха и изоляции. Вода в трубах стояка нагревается и течет в резервуар для хранения из-за разницы в плотности. Этот поток зависит от головки термосифона из-за силы плавучести, что связано с изменением плотности воды, вызванной повышением температуры воды в солнечном коллекторе. Солнечная энергия используется в разных типах полей для многих применений. В работах [2-5] было проведено достаточное количество экспериментов по превращению солнечной энергии в тепло. В исследованиях [6-10] эксперименты выполнялись в солнечном коллекторе с плоскими пластинами с применением однофазного процесса теплообмена с использованием неизолированного резервуара для воды и неизолированной соединительной трубы, а также изолированного резервуара для воды и изолированной соединительной трубы. Здесь плоская пластина солнечного коллектора действует как нагреватель, а резервуар для воды хранит горячую воду.

Солнечный коллектор – это устройство, способное захватывать солнечную энергию, которая поглощается жидкостью и далее хранится в резервуаре, используемом для конкретной цели [11-13]. Также был исследован тепловой КПД фотогальванического нагрева воздуха с использованием ребер, прикрепленных к коллектору [14]. Есть много примеров систем мониторинга: в одежде, используемой в больницах и медицинских центрах с платформой Arduino как дешевый и простой системный контроль [15]. Была разработана система контроля за эффективностью управления фотоэлектрической солнечной электростанцией [16]. Как предварительное исследование, авторами рассмотрены солнечные ресурсы Республики Казахстан. Чтобы оценить потенциал солнечной энергии, попадающей на территорию в любом регионе, необходимо иметь данные о потенциале солнечной энергии. Исходя из результатов средних значений прямого, суммарного облучения и продолжительности статистической обработки солнечного света, были дифференцированы пять зон и составлена гистограмма, характеризующая возможность внедрения солнечных коллекторов в разных регионах [20]. В статье приведены способы расчета и выбора геометрических параметров солнечного коллектора с сифонным эффектом. Также показана зависимость поперечного сечения трубы от времени потока для разных значений напора. С увеличением головки сифона также увеличивается время протекания жидкости [21].

Моделирование и методика исследования

В данной работе нами предложены одноконтурные гелиосистемы с термосифонной циркуляцией. На рисунке 1 изображена модель плоского солнечного коллектора. Сущность и новизна в том, что в отличие от известного принципа конструирования, коллектор содержит прозрачный стеклопакет 2 с двойным стеклом и с уменьшенным давлением, а также периметрическую раму 1. Днище деревянной рамы 7 сделано из фанеры толщиной 8 мм, и к ним приклеена теплоизолирующая пленка 5 с фольгой.

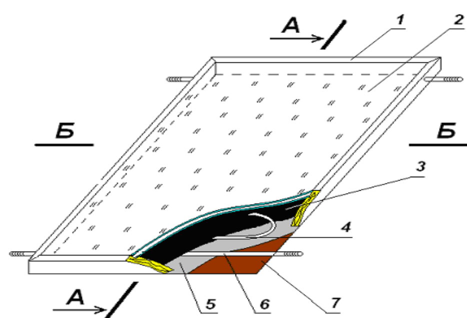


Рис.1. Принципиальная схема плоского солнечного коллектора

В зазоре, образующемся между стеклопакетом и днищем рамы, проложена гибкая тонкостенная нержавеющая гофрированная трубка 4∅16 мм в виде змеевика. Концы трубки прикреплены к входным и выходным торчащим трубам 6.



Рис.2. Натурные модели плоских солнечных коллекторов

На рисунке 2 представлены: слева – разработанная в институте натурная модель плоского солнечного коллектора, а справа – плоский гелиоколлектор с баком, который является действующим лабораторным образцом.

Таблица 1. Технические характеристики плоского гелиоколлектора-аккумулятора

Число слоев прозрачной изоляций	2
Площадь одного коллектора, м^2	до 2
Средняя температура нагрева воды, ^{o}С	60-80
Пропускная способность солнечного излучения при падении солнечных лучей по нормали к поверхности	0,89
Удельный объем для теплоносителя, л/м^2	2,0
Поглощающая способность относительно солнечного излучения	0,99
Рабочее давление, МПа	0,7
Габаритные размеры, м	1х2
Произведение коэффициента оптического КПД и коэффициента эффективности поглощающей панели	0,8
Коэффициент тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели	0,75
Отношение площади тепловоспринимающей поверхности к габаритной площади	0,95
Масса коллектора, кг	60
Срок службы, лет	15

Гелиоколлектор – основной теплогенерирующий узел гелиоустановки. Разработаны различные конструкции гелиоколлекторов со своими параметрами, на базе которых проводятся эксперименты.

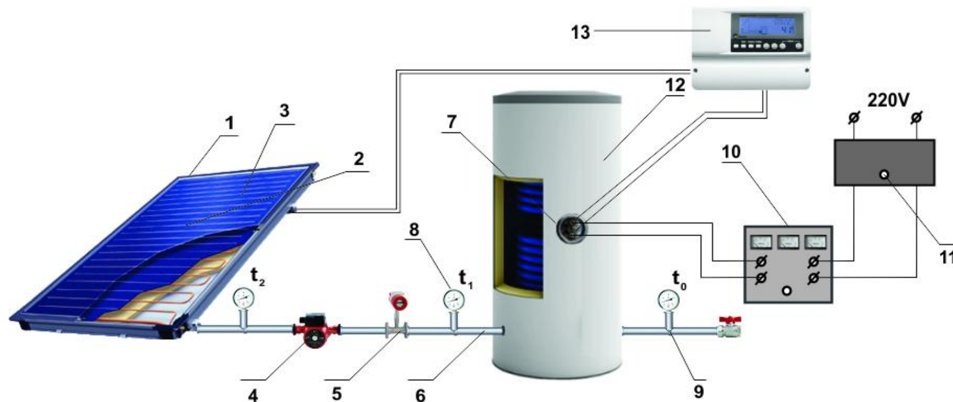


Рис. 3. Принципиальная система солнечного теплоснабжения с контроллером
1 – теплоизолированный корпус; 2 – светопрозрачное покрытие; 3 – бак-адсорбер;
4 – циркуляционный насос; 5 – расходомер; 6 – трубопровод;
7 – ТЭН 8, 9 – термометры для измерения температуры воды на входе и выходе из БА и окружающей среды; 10 – комплект электроизмерительных приборов К 501;
11 – автотрансформатор; 12- бак-аккумулятор; 13-контроллер

Схема лабораторного стенда состоит из теплоизолированного корпуса 1, светопрозрачного покрытия 2, бака-адсорбера 3, а также циркуляционного насоса 4, расходомера 5, трубопроводов 6, термоэлектрического нагревателя с терморегулятором 7, термометров 8, 9 для измерения температуры воды на входе (t_1) и на выходе (t_2) из бака и окружающей среды (t_m), измерительного прибора К 501 и автотрансформатора 11, а также контроллера для системы управления. Для рационального теплосъема от теплоотводящих солнечных коллекторов, упрощения эксплуатации гелиосистемы очевидно выгодно, чтобы данная система работала с термосифонной циркуляцией. Поэтому, для определения тепловых режимов гелиоустановки, необходимо установить зависимость производительности от режимных характеристик плотности солнечной радиации, коэффициента теплоотвода, температуры окружающей среды, разности температур и т.д.

Рассмотрим одноконтурную систему (рис. 4) в гелиоконтуре, в которой осуществляется следующее: холодная вода (〖T〗_1) из напорного бака (2) или водопровода подается к солнечным панелям (1), нагревается и поступает в бак-аккумулятор, откуда самотеком поступает к потребителям (3). По пути движения она смешивается с исходной холодной водой до достижения необходимой температуры.

Пусть гелиоприемник имеет ширину (b) и угол наклона к горизонту φ. Тогда при площади F гелиоприемника его длина l = F/b; высота $h = F \sin\frac{\varphi}{b}$.

Величина циркуляционного движения:

$$H = g\frac{h}{2}(T_2 - T_1) = \frac{Fgn\,(T_2 - T_1)}{2h} \quad (1),$$

где n удельное приращение объемной массы теплоносителя гелиоконтура при охлаждении на 1 град (для интервала температур 40+80^0C $n \approx 0{,}45$ *кг*/(м^3 град)); F – общая площадь гелиоприемника (м^2); T_2, T_1 - конечная и начальная температура теплоносителя в гелиоконтуре.

Циркуляционное движение равно потере напора в гелиоконтуре:

$$SG^2 = \frac{Fng\,(T_2 - T_1)\sin\varphi}{2b} \qquad (2)$$

где S- гидравлическая характеристика гелиоконтура Па / $(\text{кг} * \text{ч})^2$.

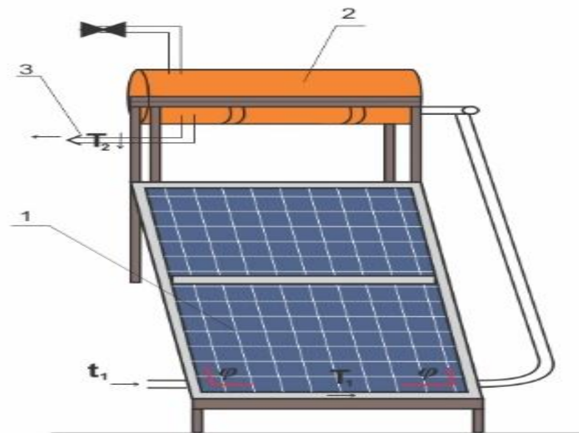


Рис. 4. Гелиосистема с термосифонной циркуляцией

Количество тепла, воспринятое термосифоном, определяется по формуле:

$$G_1C_1(T_2 - T_1) = 3600E\gamma FF'\left[\left(\tau_0 - \frac{U_1}{E}\right)\left(\frac{T_2+T_1}{2} - T_0\right)\right] \qquad (3)$$

здесь γ– коэффициент заполнения термоприемника, равный отношению площади, освещаемой солнцем к общей площади гелиоколлектора; C_1 - теплоемкость теплоносителя гелиоконтура; G_1- расход тепла теплоносителя в гелиоконтуре; E – плотность суммарной солнечной радиации падающей на поверхность гелиоприемника; τ_α - приведенная поглощательная способность гелиоприемника; U_1 - коэффициент потерь в гелиоприемнике; T_0 - температура наружного воздуха; F'- коэффициент эффективности гелиоприемника.

Нами описывается недавно разработанная методика расчета и выбор геометрических параметров солнечного коллектора с сифонным эффектом. Также показана зависимость сечения трубы от времени течения для разных значений головки. С увеличением головки сифона время течения жидкости также увеличивается. Это объясняется тем, что с увеличением головки повышается гидравлическое сопротивление сифона, что приводит к уменьшению скорости жидкости. Впервые сформулирована связь, определяющая время истечения жидкости в зависимости от геометрических параметров солнечного коллектора. Разработанная методика позволила установить, что локальное гидравлическое сопротивление и трение играют значительную роль в расходе теплоносителя [17].

Эксперимент

В настоящем исследовании шесть цифровых температурных датчиков (Dallas DS18B20) 2,3,4,5,6,7 регистрирует температуру плоского солнечного коллектора с термосифоном. Датчики контролируются программируемой логистической интегральной схемой 1 Mojo v3. Записи показания температур, хранящихся на ETHERNET modul 9, в каждые интервалы времени 5с отправляет температурные данные и состояния клапанов 10. Часы реального времени (RTC) 8 записывают дату и время измерений температурных данных, отправляя их на про-

граммируемую логистическую интегральную схему Mojo v3. Шесть датчиков подключены к плате Mojo v3 с шестью электрическими проводами, запрограммированной на языке VHDL, что, после обработки данных температуры, дата и время, полученные от RTC 8, соответственно, сохраняют их в XML (расширяемый язык разметки) в ETHERNET modul.

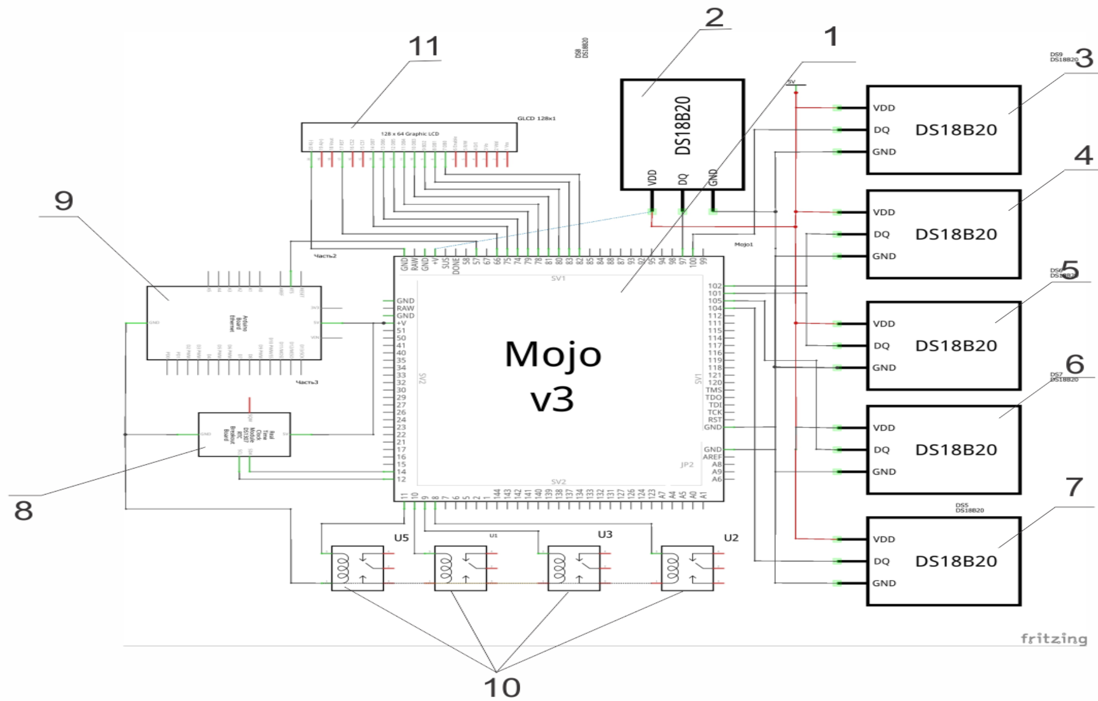


Рис. 5. Принципиальная схема соединения Mojo V3
с датчиками системы управления контроллером

Язык XML облегчает обработку этих данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц данных. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы работы установки отображаются на дисплее 11.

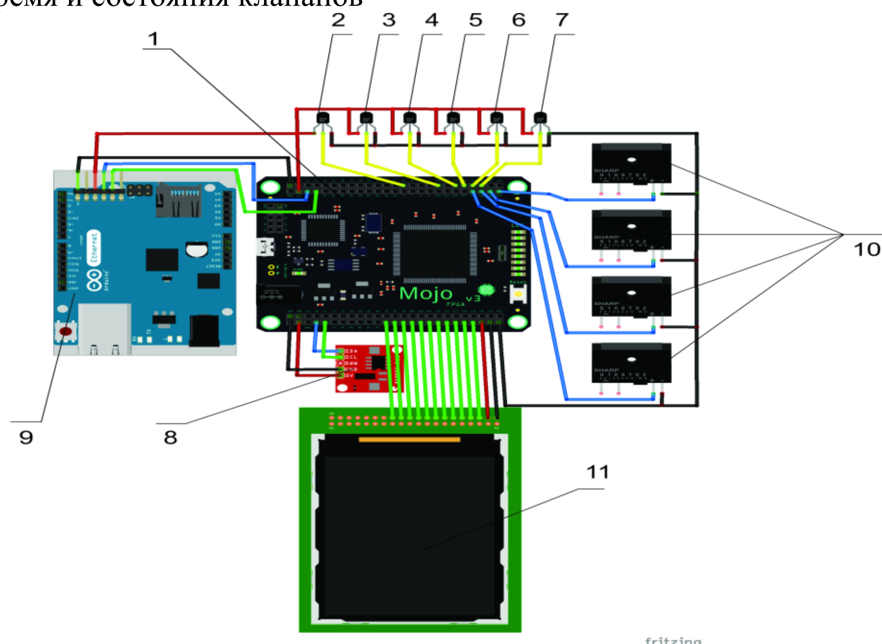


Рис. 6. Принципиальная схема контроллера на платформе Mojo v3

Для создания и исследования платформы мониторинга тепловой системы управления солнечной установки, основанной на использовании платформы Mojo v3, описан принцип работы каждого элемента, из которого будет выполнен контроллер сетевого управления и мониторинга.

Mojo v3 является программно-логической интегральной схемой Spartan 6 XC6SLX9 FPGA, 84 с цифровыми ввод-выводами, 8 аналоговыми входами. 8 светодиодов общего назначения, 1 кнопка сброса, 1 светодиод, чтобы показать, когда FPGA правильно настроен.

Встроенное регулирование напряжения может выдержать 4,8В - 12В. Также состоит из микроконтроллера (ATmega32U4), используемой для настройки FPGA, USB-связи и считывания аналоговых выводов. Встроен совместимый загрузчик Arduino, позволяющий легко программировать и микроконтроллер. На борту флэш-памяти для хранения файла конфигурации FPGA версия Mojo v3 отличается более надежным портом USB, чем v2, незначительными изменениями и обновленным микро-контроллером с дополнительной памятью для добавления собственного кода.

На рисунке 7 показан цифровой измеритель температуры DS18B20, особенностью которого является то, что цифровой измеритель температуры имеет разрешение преобразования 9-12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика. DS18B20 обменивается данными с микроконтроллером по однопроводной линии связи, используя протокол интерфейса 1-Wire.

Питание датчика может получать непосредственно от линии данных, без использования внешнего источника. В этом режиме питание датчика происходит от энергии, запасенной на паразитной емкости.

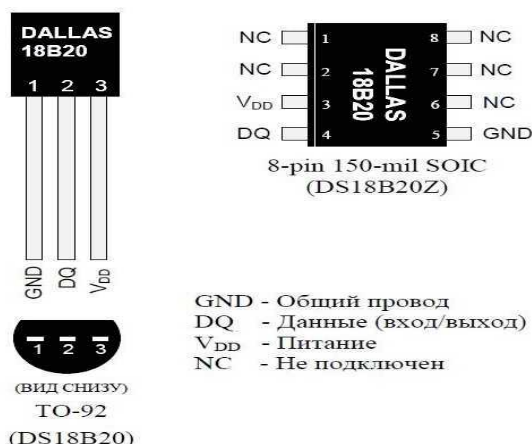


Рис. 7. Цифровой измеритель температуры DS18B20

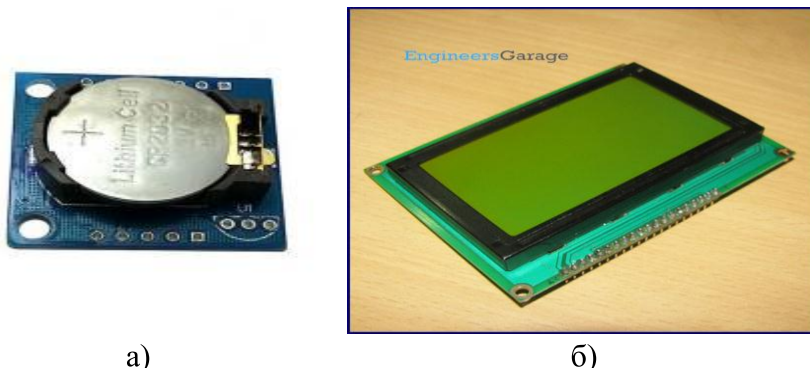
Диапазон измерения температуры составляет от -55 до +125 °С. Для диапазона от -10 до +85 °С погрешность не превышает 0,5 °С.

У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 разряда, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. Т.е. через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределенными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования.

Для расширения функциональности системы управления контролерами ис-

пользованы часы реального времени - Real Time Clock Модуль с батарейкой (DS1307) и 16 символьные ЖК-дисплеи, которые показаны ниже на рисунке 8.

Особенностью модуля DS1307 с часами реального времени является, то что модуль поставляется полностью собранным и с запрограммированным текущим временем (необходимо только установить свой часовой пояс перед использованием). С помощью укомплектованной литиевой батареи (CR2032-210mAh) модуль может работать не менее 5 лет без дополнительного источника питания 5В.



а) б)

Рис. 8. а) часы реального времени – Real Time Clock Модуль с батарейкой (DS1307) б) 16- символьные ЖК-дисплеи

Кроме микросхемы часов реального времени модуль содержит микросхему I2C EEPROM 24C32 и интерфейс для подключения датчика температуры DS18B20. Чип энергонезависимой памяти EEPROM позволяет сохранять данные, полученные от сенсора локально на модуле без необходимости постоянно дергать микроконтроллер. Интерфейс к датчику DS18B20 с подтягивающим резистором позволяет добавить к системе мониторинг температуры. ЖК-дисплей имеет формат дисплея 128x64 точек и имеет желто-зеленую подсветку. Каждый ЖК-дисплей нуждается в контроллере для выполнения своих внутренних операций. ЖК-дисплей использует два контроллера KS0108 . Естественно, 16-символьные ЖК-дисплеи имеют свои ограничения в виде количества отображаемых символов. Таким образом, графические ЖК-дисплеи используются для отображения настроенных символов и изображений.

В системе управления солнечным коллектором построен оптимальный алгоритм. В начале алгоритма программа активирует библиотеки и константы, потом подключается модуль «часы» в реальном времени, активация температурных датчиков и активация связи с сервером. Если все устройства активируются, тогда устанавливается связь, если нет, тогда начинается работы активация. Если связь установлена с сервером, тогда сохраняется xml файл в Ethernet модуле. Потом считываются температурные данные датчиков и записываются данные о температуре в Ethernet модуле.

Результаты и обсуждение

На рисунке 9 показано, как плата Mojo v3 записывает данные о солнечной радиации в данном регионе, количество теплоты гелиоустановки и отправляет на ETHERNET module. На указанном рисунке видно, что, чем выше коэффициент солнечной радиации, тем выше количество теплоты в плоском солнечном коллекторе. На рисунках 10 и 11 показано, как плата Mojo v3 за каждую секунду отправляет на сервер ETHERNET module температурные данные и тепловые потери плоского гелиоколлектора. Из рисунка видно, что чем ниже тепловые потери в гелиоколлекторе, тем ниже количество теплоты.

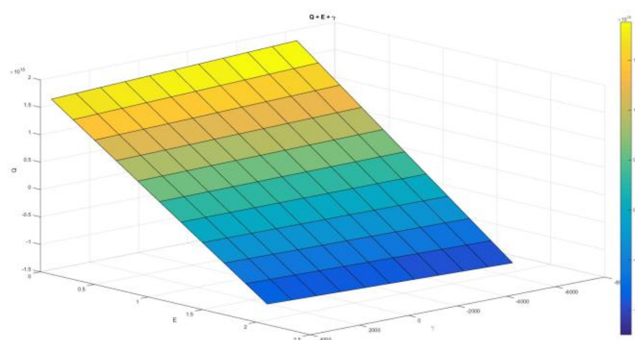


Рис. 9. Зависимость количества теплоты от плотности солнечной радиации

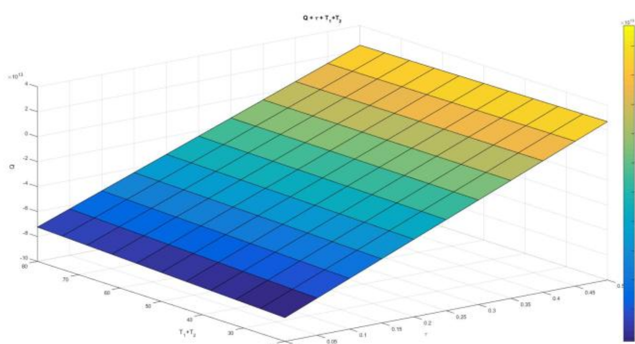


Рис. 10. Зависимость количества теплоты от разности температур

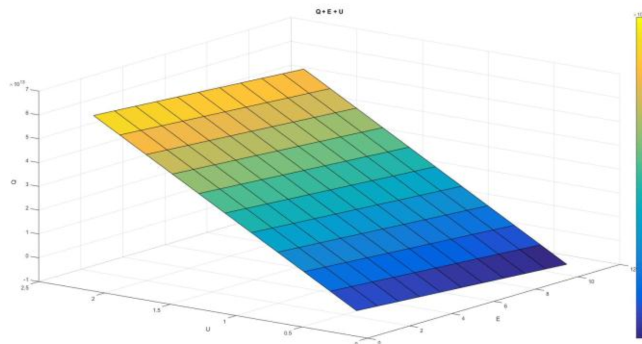


Рис. 11. Зависимость количества тепла от коэффициента теплопотерь

Заключение

В данной работе была исследована система управления контроллерами плоского солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией**.** Была построена плата Mojo v3 с датчиками для управления температурными данными плоского солнечного коллектора. Построенная плата Mojo v3 дает гибкую архитектуру для расширения системы управления солнечного коллектора с термосифонной циркуляции. С помощью платы Mojo v3 можно оперативно определить параметры гелиоколлектора, которые говорят о том, что плата Mojo v3 высокоточная и скорость приема передачи данных через ETHERNET module интерфейс до 1 гБ в секунду. Высокоскоростной интерфейс Mojo v3 позволяет автоматически построить температурные зависимости в любом регионе Казахстана.

В дальнейших исследованиях будет использован термозонд, вертикально установленный внутри резервуара, а так же будут получены температурные графические точки, которые позволяют анали-

зировать температурные расслоения. Будут рассмотрены результаты термодинамического анализа, полученные в термодатчике, которые позволяют анализировать термическое расслоение в резервуаре. С помощью первого и второго закона термодинамики будет рассчитана тепловая эффективность для гомогенизированной воды в термосифоном баке для плоского гелиоколлектора.

С любого момента начального и конечного времени во время теплового погружения в бак температурные профили, полученные T (z, t) и его контрольная температура Eьшт, разрешенные между анализируемыми точками, позволяют определить имеющуюся переходную энергию. Таким образом, энергия жидкости в баке сохраняется до этого момента при нагрузке. Впрыскивание горячей жидкости поверх бака, согласно [19], и математически [18] может быть получено зависимостью:

$$E_{t\text{-}tfinal}=\rho*A*c\int_0^H[T(z,t)-T_{min}]dz \quad (4)$$

Переходная термическая эффективность по первому закону термодинамики для жидкости в баке получена соотношением:

$$\eta=\frac{\int_0^H[T(z,t)-T_{min}]dz}{H(T_{max}-T_{min})} \quad (5)$$

где E_{max} – максимум допущенной энергии, т. е. когда T (z, t) равно T_{max}.

По второму закону термодинамики, работа может быть получена путем определения емкости бака, для реализации обратимого процесса [9]. Таким образом, выражение работы между временем (t) и конечным временем (t финал) для термически затянутой массы в резервуаре, разработанное [18], получается следующим соотношением:

$$W_{t\text{-}tfinal}=\rho*A*cp\int_0^H\{[T(z,t)-T_{min}]-T_0*ln\frac{T(z,t)}{T_{min}}\}dz \quad (6)$$

Можно вычислить эффективность тепловой системы из второго закона термодинамики для жидкости в баке, согласно соотношению:

$$\varepsilon=\frac{W_{t-tfinal}}{W_{max}}=\frac{\int_0^H\{[T(z,t)-T_{min}]-T_0*ln\frac{T(z,t)}{T_{min}}\}dz}{H[(T_{max}-T_{min})-T_0*\ln\left(\frac{T_{max}}{T_{min}}\right)]} \quad (7)$$

где W_{max}- максимум работы, полученной в обратимом процессе, когда масса жидкости в баке достигает однородной температуры, т. е. T (z, t) равна T_{max}. Когда масса жидкости в баке достигает однородной температуры, только зависящее от времени уравнение (6) сводится к следующему соотношению:

$$W_{t-t_{final}}=\rho*A*H\{[T(t)-T_{min}]-T_0*ln\frac{T(t)}{T_{min}} \quad (8)$$

Таким образом, тепловая эффективность второго закона термодинамики для термически однородной массы внутри бака определяется соотношением:

$$\epsilon_h=\frac{W_{t-t_{final}}}{W_{max}}=\frac{[T(t)-T_{min}]-T_0*ln\frac{T(t)}{T_{min}}}{[T_{max}-T_{min}]-T_0*ln\frac{T_{max}}{T_{min}}} \quad (9)$$

Применение формул (4) и (6) вместе с уравнением (7) показывает, что для тех же T_{max} и T_{min} тепловая эффективность жидкости по второму закону термодинамики в любое время больше, чем теплоемкость однородной жидкости.

Применяя первый и второй закон термодинамики с помощью языка программи-

рования С++ будет вычислена эффективность тепловой системы для жидкости в баке.

Будут разработаны симуляционные модели в среде MatLab (Simulink) по анализу тепловой эффективности плоских гелиоколлекторов с термосифонным баком с применением платформы Mojo v3.

Reference

1. Duffie, J.A., Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes (1991). John Wiley and Sons, New York.
2. Samanci, A., Berber, A. Experimental investigation of single-phase and twophase closed thermosyphon solar water heater systems (2011). Scientific Research and Essays, Vol. 6(4), pp. 688-693, 18 February, 2011.
3. Islam, M.A., Khan, M.A.R., Sarkar, M.A.R. Performance of a Two-Phase Solar Collector in Water Heating (2005). Journal of Energy & Environment 4, Technical Note, pp. 117 – 123.
4. Chuawittayawuth, K., Kumar, S. Experimental investigation of temperature and flow distribution in a thermosyphon solar water heating system (2002). Renewable Energy 26 (2002), pp. 431–448.
5. Taherian, H., Rezania, A., Sadeghi, S., Ganji, D.D. Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater (2011). Energy Conversion and Management 52, pp. 301–307.
6. Zerrouki, A., Boumedien, A., Bouhadef, K. The natural circulation solar water heater model with linear temperature distribution (2002). Renewable Energy 26, pp. 549–559.
7. Luna Abreu, S., Colle, S. An experimental study of two-phase closed thermosyphons for compact solar domestic hot-water system (2004), Solar Energy 76, pp. 141–145.
8. Hobbi, A., Siddiqui, K. Experimental study on the effect of heat transfer enhancement devices in flat-plate solar collectors (2009). International Journal of Heat and Mass Transfer 52, 4650–4658.
9. Ogueke, N.V., Anyanwu, E.E., Ekechukwu, O.V. A review of solar water heating systems (2009) Journal of Renewable and Sustainable Energy 1, 043106.
10. Dr. Mohammed, A.A. Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Turbulent Flow in a Tube Fitted With Conical Ring and Twisted Tape Inserts (2011) Engg. & Tech. Journal, vol. 29, no. 2. pp. 34–39.
11. De Marchi Neto, I., Padilha, A. Refrigerator COP with thermal storage (2008). Appl. Therm. Eng. 29(1), 2358–2364.
12. Souza, L.M.P. Levantamento de Coeficientes de Desempenho de Armazenador Te ´rmico Associado a Refrigerador Dome ´stico Modificado (2011). Universidade Estadual Paulista-Ju ´lio de Mesquita Filho, Campus de Bauru, Mestrado.
13. Taheri, H. PhD’s Thesis (2014). A.: Karlsruhe Institut fur Technologie (KIT), Karlsruhe, Germany.
14. Rosen, M.A., Kumar, R. Performance of a photovoltaic/thermal solar air heater: effect of vertical fins on a double pass system (2011). Int. J. Energy Environ. Eng. 2(4), 1–4.
15. Sugathan, A., Kirthyvijay, G.J., Thomson, J. Application of Arduino based platform for wearable health monitoring system (2013). In: Presented at the 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems.
16. Faizan, V., Galib, M., Khan, A., Afzal, S. Arduino web server for efficiently control and monitoring of solar power system (2014). Int. J. Comput. Eng. Appl. 8(1), pp. 148–157.
17. Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Wójcik, W., Amirgaliyev, B., Kalizhanova, A., Auelbekov, O., Kataev, N., Kozbakova, A. Calculation and selection of flat-plate solar collector geometric parameters with thermosiphon circulation (2018). Journal of Ecological Engineering, Volume 19, Issue 6, pp. 176-181.
18. Padilha, A. Estocagem por estratificac¸a ˜o te ´rmica de lı ´quido em reservato ´rio. Dissertac¸a ˜o de Mestrado (1983). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
19. Fabry, C. Ele ´ments de thermodynamique (1962). 11th edn., vol. 1, 1 vols. Paris: Armand Colin.
20. Amirgaliyev, Y.N., Kunelbayev, M., Wójcik, W., (...), Kozbakova, A.K., Irzhanova, A.A. Solar-driven resources of the Republic of Kazakhstan (2018). News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 3(430), pp. 18-27.
21. Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Wójcik, W., (...), Kataev, N., Kozbakova, A. Calculation and selection of flat-plate solar collector geometric parameters with thermosiphon circulation (2018). Journal of Ecological Engineering, 19(6), pp. 176-181.